

PUB-NO: EP000012070A1

DOCUMENT-IDENTIFIER: EP 12070 A1

TITLE: Pneumatic speaker with  
constant fluid flow.

PUBN-DATE: June 11, 1980

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

COUNTRY

JULIA, JEAN FRANCOIS LOUIS

N/A

DUTHION, LOUIS

N/A

PAVLIN, CYRILLE FRANCOIS

N/A

FACON, PIERRE JEAN ALPHONSE

N/A

SOUQUET, JACQUES

N/A

ASSIGNÉE-INFORMATION:

NAME

COUNTRY

BERTIN & CIE

FR

APPL-NO: EP79400903

APPL-DATE: November 22, 1979

PRIORITY-DATA: FR07833178A ( November 24, 1978)

INT-CL (IPC): G10K011/08, H04R001/42

EUR-CL (EPC): G10K011/08 ; H04R001/42

US-CL-CURRENT: 181/148, 181/179 , 381/165 , 381/340

, 381/FOR.143

ABSTRACT:

CHG DATE=19990617 STATUS=0>1. Pneumatic loudspeaker with continuous pressure fluid flow through a pneumatic circuit extending from a fluid inlet to a fluid outlet via an intermediate annular throat at the level of which modulated flow fluctuations about a mean value are caused by axial displacements of an annular flow modulator member controlled by an electromagnetic transducer monitored by a phonic signal, characterised in that the pneumatic circuit (2) on the one hand and the electromagnetic transducer (3) on the other hand are separated from each other over their whole respective extension by means of a transverse partitioning wall (1) perpendicular to the displacement axis (X-X) in the annular throat (8) of the annular member (9) which is an obstacle protruding from said transverse wall (1) and longitudinally movable across said annular throat (8), and in that the pressure fluid providing from the fluid inlet (13) of the pneumatic circuit (2) arrives in this annular throat (8) tangentially with respect to the transverse wall (1), that is to say perpendicularly with respect to said longitudinally movable obstacle (9).

⑫

**DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

⑲ Numéro de dépôt: 79400903.5

⑤① Int. Cl.<sup>3</sup>: **G 10 K 11/08**  
**H 04 R 1/42**

⑳ Date de dépôt: 22.11.79

③① Priorité: 24.11.78 FR 783178

④③ Date de publication de la demande:  
11.06.80 Bulletin 80/12

⑥④ Etats Contractants Désignés:  
DE GB IT NL SE

⑦① Demandeur: S.A. dite: BERTIN & Cie  
B.P. No. 3  
F-78370 Plaisir(FR)

⑦② Inventeur: Julia, Jean François Louis  
8, rue St-Gobain  
F-93800 Epinay sur Seine(FR)

⑦② Inventeur: Duthion, Louis  
26, rue Boileau  
F-75016 Paris(FR)

⑦② Inventeur: Pavlin, Cyrille François  
Chemin de la Maladrerie  
F-78790 Rosay par Septeuil(FR)

⑦② Inventeur: Facon, Pierre Jean Alphonse  
12, rue du Chemin Vert  
F-78810 Le Perray en Yvelines(FR)

⑦② Inventeur: Souquet, Jacques  
3, Square des Feuillantes  
Party II F-78150 Le Chesnay(FR)

⑦④ Mandataire: de Boisse, Louis  
37, Avenue Franklin D. Roosevelt  
F-75008 Paris(FR)

⑤④ Procédé d'amplification acoustique fluide et haut-parleur pneumatique de mise en oeuvre de ce procédé.

⑤⑦ Procédé d'amplification acoustique fluide résultant de l'action d'amplificateur fluidique, le signal à l'entrée de cette chaîne issu d'un microphone (56) ou d'une mémoire d'information (57) est transformé en signal fluidique par un transducteur (3).

Haut-parleur pneumatique comprenant un obstacle annulaire de modulation (9) dans la section de passage (8) de l'écoulement radiale de fluide. L'obstacle (9) fait partie de la bobine électromagnétique (17) du transducteur. Un refroidissement efficace de la bobine est assuré au moyen d'un écoulement d'air frais (27) permettant ainsi d'utilisation de gaz chauds comme fluide moteur.

EP 0 012 070 A1

./...

- 1 -

Procédé d'amplification acoustique fluide et haut-  
parleur pneumatique de mise en oeuvre de ce procédé

La présente invention concerne un procédé d'amplification acoustique fluide d'un signal quelconque mais en particulier d'un message parlé ainsi que des amplificateurs acoustiques fluides mettant en oeuvre ledit  
5 procédé.

Le principe d'amplification acoustique (fluide) d'un signal quelconque par un jet de puissance est bien connu en soi et il est exploité essentiellement par deux techniques très différentes. L'une consiste à  
10 utiliser un jet à débit constant: c'est en particulier le procédé divulgué dans le brevet français 1.531.690 utilisant le principe de déviation de jet ; dans l'autre technique le débit de puissance du jet est variable : c'est le cas des sirènes classiques où on module  
15 la section de passage d'un écoulement de fluide à l'aide d'un organe d'adaptation, cette variation de débit étant réalisée généralement d'une manière discontinue entre une valeur maximale et une valeur minimale.

Si ces deux techniques ont conduit jusqu'à présent à des  
20 résultats comparables quant au niveau de la puissance acoustique délivrée (égale ou supérieure à 20000 watts), leurs performances sont très différentes quant à leur plage de fonctionnement en fréquence. Dans le cas des

- sirènes classiques la limite supérieure de cette plage n'atteint pas 500 Hz, cette limitation étant inhérente au mode de modulation du débit de fluide qui présente une grande inertie et engendre un bruit de fond important. De tels systèmes appliquant la technique décrite ci-dessus ne peuvent convenir pour la réalisation d'un haut-parleur pneumatique car celle-ci exige que :
- d'une part la plage de fonctionnement en fréquence couvre le spectre de la parole c'est-à-dire l'intervalle 300 - 3000Hz;
  - d'autre part le rapport signal/bruit, qui traduit ici la clarté ou l'intelligibilité du signal transmis, ne doit pas être inférieur à 10 dB pour toute la plage de fonctionnement ci-dessus.
- 15 La présente invention consiste d'une part dans la généralisation du procédé de production d'ondes acoustiques, tel que divulgué dans le brevet ci-dessus, à la transmission de messages complexes et en particulier vocaux et d'autre part dans la réalisation des générateurs de bruit mettant en oeuvre ledit procédé. Les
- 20 générateurs acoustiques tels que décrits dans le brevet français 1.531.690 présentent l'avantage d'obtenir une modulation complète d'un jet avec un très faible déplacement de l'organe mobile déviateur, donc une faible
- 25 inertie. L'utilisation de tels générateurs comme haut-parleurs est rendue possible par l'incorporation d'un circuit électronique de transmission et/ou d'amplification alimentant la bobine du transducteur à partir de signaux provenant d'un microphone ou bien d'une mémoire
- 30 d'informations.

Suivant une première forme de réalisation de l'invention, l'amplification de tels signaux est réalisée par une chaîne à "n" étages : le premier étage étant constitué par l'interaction de l'élément mobile d'un transducteur sur un écoulement de fluide sous pression, les

étages suivants successifs étant constitués par des amplificateurs fluides classiques fonctionnant indifféremment à déviation de jet ou à striction par jet. Pour l'obtention de puissances très importantes et

5 afin d'obtenir un ensemble compact, la génération de gaz comprimés est de préférence obtenue par un ensemble du type turboréacteur.

Suivant une seconde forme de réalisation, l'amplification pneumatique résulte de l'action simultanée d'une

10 batterie de "n" sirènes identiques alimentées par un générateur commun du type turboréacteur.

Suivant une forme de réalisation privilégiée de l'invention, le haut-parleur revendiqué applique le principe de la modulation partielle d'un débit de puissance.

15 Le mode de modulation mis en oeuvre présente une faible inertie tout en assurant des amplitudes de modulation importantes, c'est-à-dire qu'il permet simultanément de conserver la fidélité du timbre de la voix tout en assurant un haut niveau de retransmission avec un fort

20 rapport signal/bruit de fond.

La modulation de débit consiste ici en des fluctuations de débit autour d'un débit moyen qui est évacué par le même conduit qui transmet les ondes sonores à l'extérieur. Cette modulation est réalisée en un seul étage

25 caractérisé en ce que le circuit pneumatique et le transducteur sont séparés par une paroi: d'un côté de ladite paroi, le circuit pneumatique comprenant un col prolongé par un diffuseur lui-même prolongé par un pavillon acoustique; de l'autre côté de la paroi, le

30 transducteur dont l'élément mobile commande un obstacle annulaire qui fait saillie, à partir de cette paroi, dans le plan du col de la tuyère annulaire, l'obstacle mobile étant lié à ladite paroi par une liaison élasti-

que continue. En outre, cette paroi peut comporter des orifices qui laissent passer un écoulement d'air frais induit par l'écoulement de fluide moteur à la surface de ladite paroi (créant ainsi un effet d'éjecteur) de  
5 telle sorte qu'un refroidissement efficace de la bobine est assuré naturellement, permettant l'utilisation de gaz chauds comme fluide moteur.

D'autre part, la fiabilité de ladite bobine résultant d'un isolement parfait du bobinage ainsi que des élé-  
10 ments conducteurs assurant son alimentation et du mode de liaison bobinage-circuit électrique qui réduit au minimum les contraintes dues aux vibrations de la bobine, lui permet de supporter des amplitudes importantes.

15 Une autre caractéristique importante de tels haut-parleurs est qu'ils nécessitent une faible puissance pneumatique motrice qui peut être aisément produite par une source d'air comprimé autonome et de faible encombrement de telle sorte qu'un tel haut-parleur puisse  
20 être rendu portatif.

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront de la description qui va suivre faite en regard des dessins annexés et donnant, à titre explicatif mais nullement limitatif, trois formes de  
25 mise en oeuvre du procédé selon l'invention.

La figure 1 est une vue en coupe axiale d'un tel haut-parleur; la figure 2 représente une coupe axiale d'une vue de détail des éléments caractéristiques de l'invention; la figure 3 représente  
30 une coupe axiale partielle d'un turboréacteur à simple flux alimentant deux étages d'amplification; la figure 3A représente une coupe axiale d'une vue de détail du deuxième étage d'amplification; la

figure 4 représente schématiquement une "batterie de cinq sirènes identiques alimentées à partir d'un turboréacteur.

Sur la figure 1, on distingue de part et d'autre d'une  
5 paroi 1: d'un côté, l'ensemble du circuit pneumatique 2 et, de l'autre côté, le transducteur 3.

L'ensemble du circuit pneumatique 2 comprend une  
tuyère 4 prolongée par un pavillon 5, cette tuyère 4  
délimitant avec un diffuseur 6 profilé un conduit annu-  
10 laire 7 comportant un col 8 dans le plan duquel est  
disposé un obstacle 9 annulaire. A l'amont de ce col 8,  
un collecteur circulaire 10<sup>est</sup> alimenté uniformément à  
partir d'une capacité 11 comportant des orifices 12  
répartis régulièrement à sa base, ladite capacité 11  
15 étant alimentée, par conduit d'admission 13. L'obstacle  
9 mobile est relié à la paroi 1 par une liaison 22  
élastique continue (en élastomère); cette paroi 1 com-  
portant une couronne extérieure 23 et une couronne  
intérieure 24.

20 Le transducteur 3 comprend classiquement un aimant  
permanent 14 délimitant un entrefer annulaire 16 dans  
lequel se déplace longitudinalement la bobine électro-  
magnétique 17, celle-ci comportant un bobinage 18 relié  
aux bornes 19 d'alimentation d'un signal électrique  
25 par des lamelles conductrices 21 (voir aussi figure 2).

Ledit signal électrique, résultant de la transformation  
d'un signal d'entrée vocal 55 par un micro 56 ou un  
enregistreur magnétique 57 et de son amplification dans  
l'amplificateur 58, est acheminé vers les bornes d'a-  
30 limentation 19 par un câble 20.

L'ensemble du transducteur pourra être logé dans un  
boîtier 25 cylindrique qui comporte avantageusement un



orifice 26 d'aspiration d'air induit 27.

Le fonctionnement de ce haut-parleur pneumatique est alors le suivant. Sous l'influence du signal parcourant le bobinage 18, l'obstacle mobile 9 se déplace dans le plan du col 8 et modifie ainsi la section de passage de l'écoulement de puissance autour d'un débit moyen déterminé par la position au repos, en l'absence de signal, de l'obstacle 9 dans le plan du col 8. L'amplitude du signal à transmettre étant ainsi modulée par ces fluctuations de débit, cet écoulement d'air fluide moteur à la surface de la paroi 1 donne naissance du côté de la paroi 1 où se trouve le transducteur 3 à un courant d'air induit important.

Sur la figure 2 sont représentés distinctement les éléments caractéristiques de l'invention. On peut distinguer en particulier le trajet de l'air induit 27 dans sa partie aval : celui-ci passe tout d'abord dans l'entrefer 16 de l'aimant annulaire dans lequel se meut la bobine 17 et de part et d'autre de celle-ci. Des orifices 29 pratiqués régulièrement sur le périmètre de celle-ci en égalisant les pressions de part et d'autre de la paroi de la bobine 17 permettent en même temps un écoulement à l'intérieur et à l'extérieur de ladite bobine 17. Cet écoulement d'air induit 27 sort du système électromagnétique de commande 3 par des orifices 30 pratiqués régulièrement sur le périmètre de la couronne intérieure 24 de la paroi 1 et rejoint l'écoulement d'air moteur à l'aval du col 8.

La position correcte de la bobine 17 dans l'entrefer 16 annulaire de l'aimant 14, est assurée avantageusement par l'intermédiaire de deux pions de centrage : l'un situé au centre 31 de la couronne intérieure 24, l'autre 32 étant situé sur la couronne extérieure 23. Les couronnes extérieure 23 et intérieure 24 sont appliquées

respectivement sur une structure fixe 15 d'une part par l'intermédiaire d'un plateau 33 en forme de couronne et d'autre part par le diffuseur profilé 6.

Sur cette même figure on peut remarquer que l'obstacle  
5 9 mobile comporte à sa partie inférieure un évidement dans lequel est logé le bobinage 18 dont l'alimentation est assurée par des lamelles conductrices 21 soudées à une de leurs extrémités à la dernière spire 34 du bobinage 18. Ces lamelles 21 situées avantageusement  
10 à l'intérieur de la bobine 17 sont noyées dans la structure de celle-ci et dans le joint annulaire 22 et reliées à l'autre extrémité à une borne 19 d'arrivée du signal d'alimentation, de - - - sorte que d'une part les lamelles 21 ne peuvent avoir, en cours de fonction-  
15 nement, aucun contact avec les éléments métalliques du transducteur 3 et que d'autre part les sollicitations exercées sur la soudure sont réduites au minimum.

Le haut-parleur pneumatique tel que décrit à travers les figures 1 et 2 est particulièrement performant :  
20 le rendement obtenu considéré dans son rapport (puissance acoustique/puissance pneumatique) peut atteindre 15% en régime subsonique avec un rapport signal/bruit de l'ordre de 25 dB.

Pour une pression génératrice effective de 1,5 bar  
25 et un débit de 60 g/s et pour une puissance électrique de l'ordre de 150 watts en bruit blanc, ce haut-parleur délivre une puissance de 300 watts acoustique (mesurée en champs libre) avec un rapport signal/bruit de l'ordre de 20 dB, le rendement dans ce cas étant de l'ordre  
30 de 8%. Le débit d'air induit est alors de 10 g/s environ. On constate d'autre part, toutes choses étant égales par ailleurs, que la puissance acoustique varie approximativement linéairement avec la puissance électrique d'une part et avec la puissance pneumatique

d'autre part.

L'amplificateur fluide représenté sur les figures 3 et 3A constitue un générateur de bruit de forte puissance. Il comprend un turboréacteur 35 à simple flux  
5 36 sur lequel sont prélevés des débits secondaires alimentant des amplificateurs fluidiques disposés en chaîne. Un premier soutirage 37 est effectué à l'amont de la chambre de combustion 38; le débit ainsi soutiré alimente un conduit sensiblement annulaire 39. A  
10 l'orifice de sortie de ce conduit est disposé un obstacle annulaire 9 commandé par un transducteur 3 alimenté par le signal d'entrée. Pour une certaine position de l'obstacle 9 dans l'orifice de sortie du conduit annulaire 39, le jet de fluide ainsi soutiré  
15 est collecté dans une capacité 40 pour déboucher à l'air libre suivant la flèche 41. Pour une autre position de l'obstacle 9 dans l'orifice de sortie du conduit 39, le jet pénètre dans un conduit 42 qui délivre alors un jet de commande à travers un orifice  
20 43 pour un second débit de puissance, soutiré également sur le flux principal 36 et alimentant un conduit annulaire 44, à partir d'un conduit 45 de soutirage. A l'orifice de sortie 43 du conduit annulaire 44, le second débit de puissance est dévié alternativement  
25 dans les conduits 46 et 47. Le conduit 46 évacue le jet dans une capacité ou à l'ambiance suivant la flèche 48, alors que le conduit 47 délivre, à travers un orifice 49, un jet de commande (signal fluidique) pour le flux principal 36. Suivant l'absence ou la présence de signal  
30 fluidique, celui-ci s'échappe alors soit par le conduit d'échappement 50 soit par le conduit 51 par l'intermédiaire d'une grille d'aubes 52.

Le mode de réalisation selon la figure 4 représente schématiquement une batterie 53 de cinq générateurs  
35 acoustiques identiques 59 pouvant comporter un seul

étage d'amplification, alimentés à partir d'un turbo-réacteur commun 35 par un faisceau de tubes 54.

La puissance acoustique d'une telle installation est la résultante des puissances acoustiques élémentaires  
5 des générateurs, le rendement global d'une telle installation étant sensiblement le rendement élémentaire d'un générateur.

Revendications de brevet

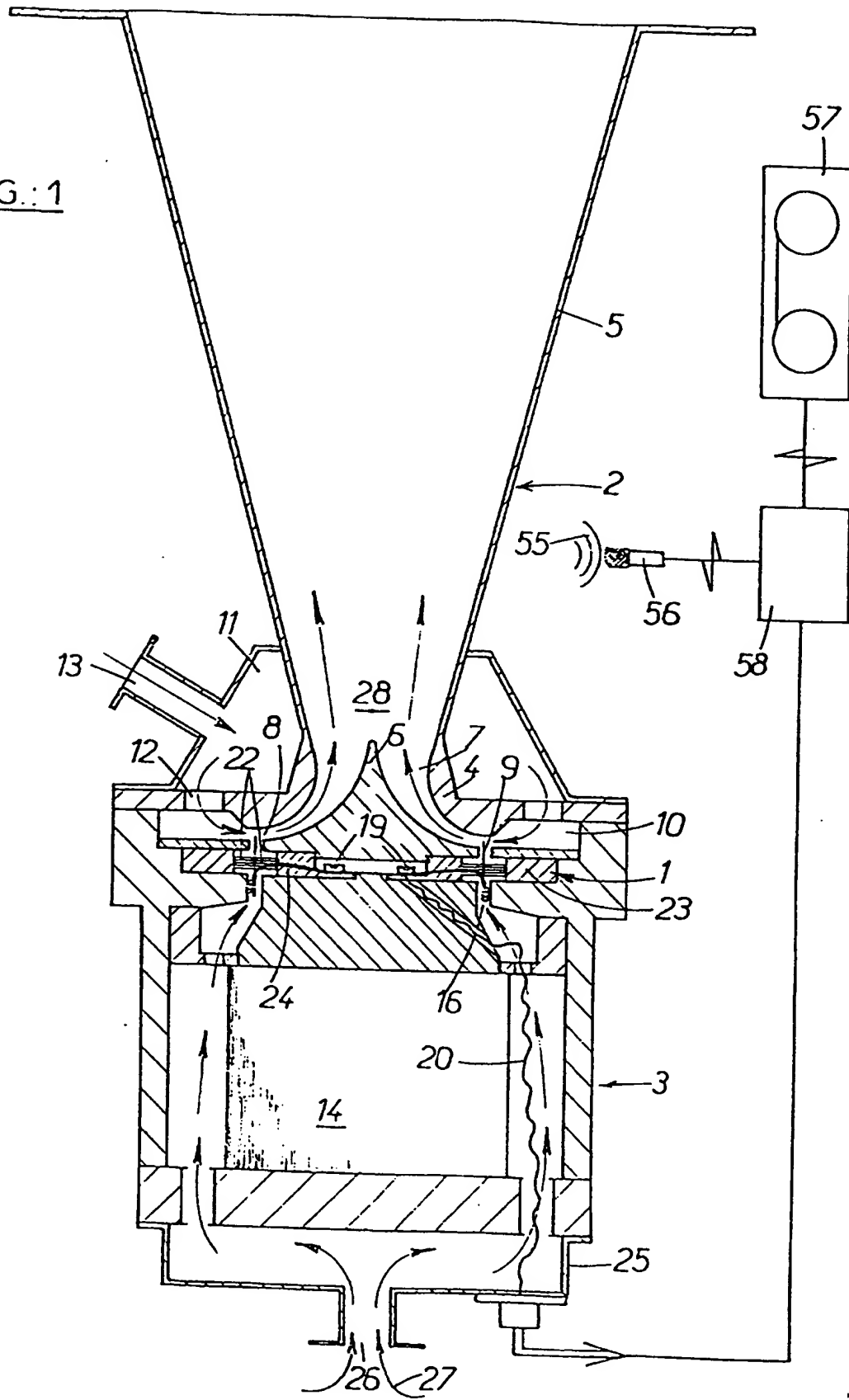
1. Procédé d'amplification acoustique fluide résultant de l'interaction d'un écoulement de fluide sous pression et d'un obstacle mobile commandé par un transducteur, lequel est alimenté à partir d'un circuit  
5 électrique piloté par le signal d'entrée issu d'un microphone ou d'une mémoire d'informations, caractérisé en ce que le circuit pneumatique dans lequel s'écoule le fluide sous pression comporte un col sonique dans le plan duquel s'effectue le mouvement de  
10 l'obstacle provoquant ainsi des fluctuations de débit autour d'un débit moyen déterminé par la position au repos, en l'absence de signal, de l'obstacle à l'intérieur du circuit pneumatique.
2. Procédé d'amplification acoustique fluide selon  
15 la revendication 1, caractérisé en ce que l'amplification pneumatique résulte de l'action simultanée d'un même signal d'entrée sur des écoulements de fluide sous pression dérivés d'une même source génératrice du type turboréacteur.
- 20 3. Haut-parleur pneumatique de mise en oeuvre du procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le circuit pneumatique et le transducteur sont séparés par une paroi, le transducteur commandant un obstacle annulaire mobile qui fait saillie à partir de  
25 cette paroi dans le plan du col annulaire du circuit pneumatique, l'écoulement d'air s'effectuant tangentiellement à cette paroi et radialement par rapport à l'obstacle.
- 30 4. Haut-parleur pneumatique selon la revendication 3, caractérisé en ce que l'obstacle annulaire de modulation de la section de passage de l'écoulement de fluide

sous pression est constitué par la partie supérieure de la bobine du transducteur.

5. Haut-parleur pneumatique selon la revendication 3 ou 4, caractérisé en ce que la bobine est reliée  
5 à la structure rigide par une liaison continue de type membrane élastique, réalisée par un joint annulaire en élastomère.
6. Haut-parleur pneumatique selon la revendication 5, caractérisé en ce que ladite liaison élastique est  
10 réalisée par deux joints annulaires en élastomère disposés dans le même plan à l'intérieur et à l'extérieur de ladite bobine.
7. Haut-parleur pneumatique selon l'une quelconque des revendications 3 à 6, caractérisé en ce que la  
15 paroi de séparation entre le circuit pneumatique et le transducteur, comporte des orifices qui laissent passer un écoulement d'air frais induit par l'écoulement de fluide moteur à la surface de ladite paroi, de telle sorte qu'un refroidissement efficace de la bobine soit  
20 assuré naturellement, permettant ainsi l'utilisation de gaz chauds comme fluide moteur.
8. Haut-parleur pneumatique selon l'une quelconque des revendications 3 à 7, caractérisé en ce que le circuit pneumatique et le transducteur sont deux systèmes  
25 de révolution intégrés dans un ensemble compact admettant le même axe de révolution.
9. Haut-parleur pneumatique selon les revendications 4 et 5, caractérisé en ce que l'alimentation du bobinage supporté par la bobine est assurée par des lamelles  
30 conductrices noyées d'une part dans le joint en élastomère et d'autre part dans la bobine.

10. Haut-parleur pneumatique selon la revendication 9, caractérisé en ce que la liaison entre le bobinage et les lamelles est réalisée par des soudures pratiquées sur les spires du bobinage intégrées dans la
- 5 structure de la bobine, de sorte que les contraintes exercées sur la soudure sont réduites au minimum et que l'isolement électrique de la bobine est maintenu quelle que soit l'amplitude de son déplacement.

FIG.: 1





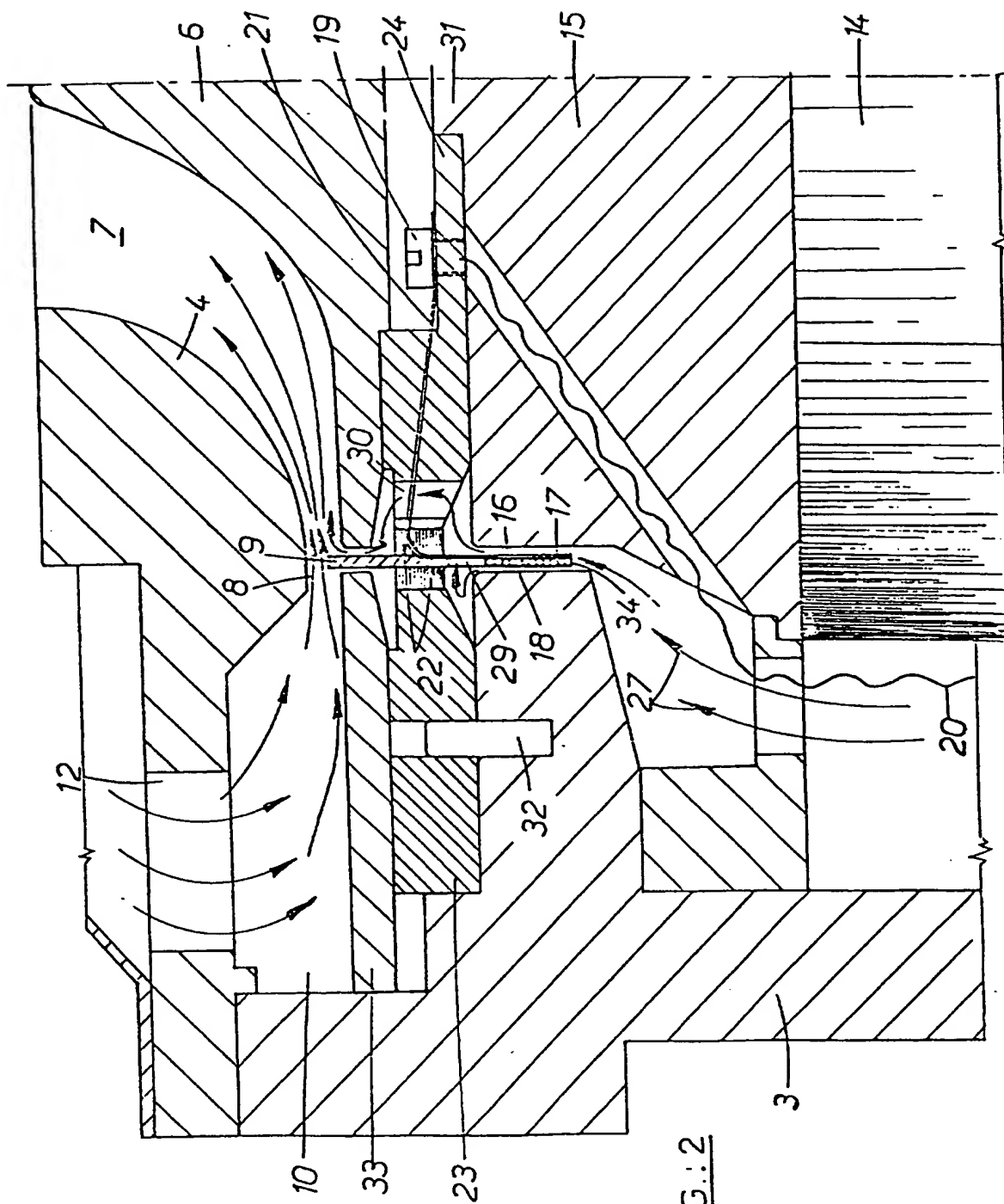


FIG. 2

FIG. 4

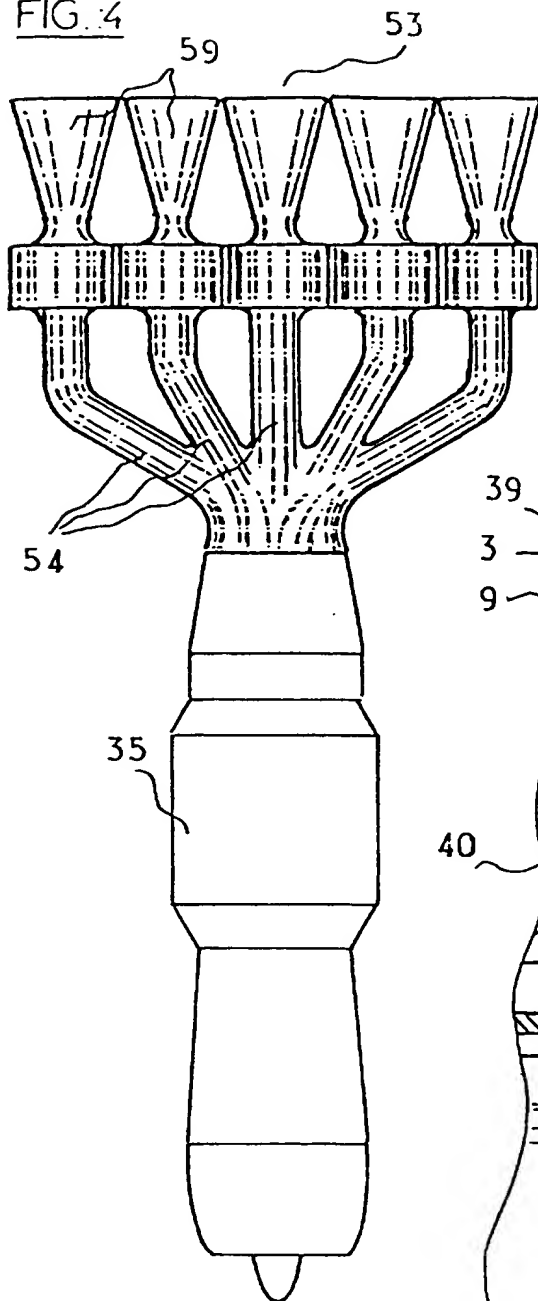


FIG. 3

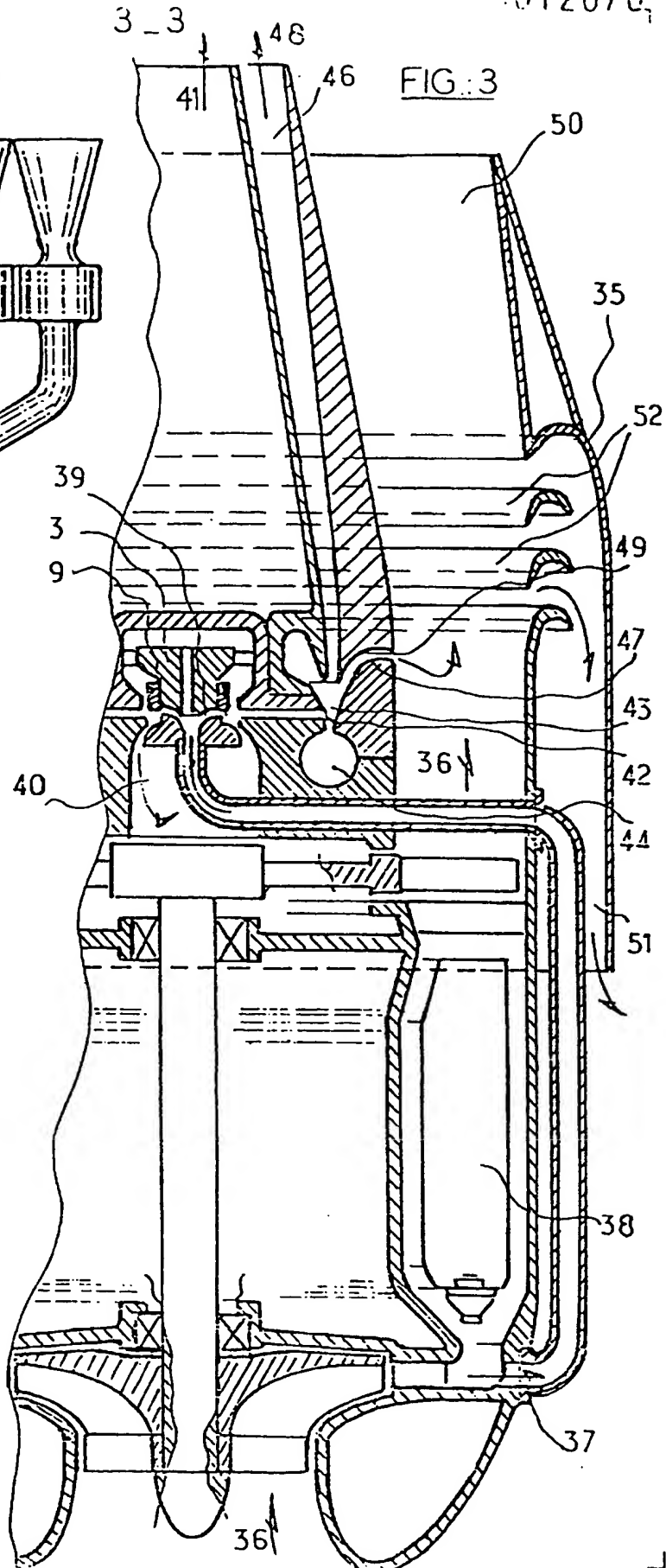
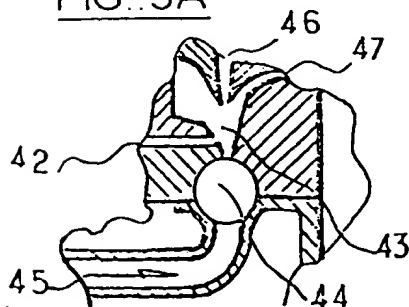


FIG. 3A





Office européen  
des brevets

# RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

0012070  
Numéro de la demande

EP 79 40 0903

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl. 1)
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	
X	MACHINE DESIGN, vol. 43, no. 11, 29/04/1971, page 31. Cleveland USA "Fluidic Noisemaker".  * En entier *	1,3,8	G 10 K 11/08 H 04 R 1/42
	--		
X	US - A - 1 904 156 (R.F. MALLINA)  * Page 1, lignes 6-24; page 1, ligne 85 - page 2, ligne 8; revendications 1,2,6; figure 1 *	1,4,5	
	--		
A	FR - A - 371 113 (L'ASPIRATOR)  * Résumé *	1	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl. 2)  G 10 K 11/08 H 04 R 1/42 G 10 K 7/00
	--		
A	US - A - 2 435 534 (W.C. EAVES)  * Colonne 2, ligne 52 - colonne 3, ligne 32; figure 1 *	1	
	----		
			CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES
			X: particulièrement pertinent A: arrière-plan technologique O: divulgation non-écrite P: document intercalaire T: théorie ou principe à la base de l'invention E: demande faisant interférence D: document cité dans la demande L: document cité pour d'autres raisons
			8: membre de la même famille. document correspondant
<input checked="" type="checkbox"/> Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 03-03-1980	Examineur HAASBROEK

Revendications de brevet

1. Procédé d'amplification acoustique fluide résultant de l'interaction d'un écoulement de fluide sous pression et d'un obstacle mobile commandé par un transducteur, lequel est alimenté à partir d'un circuit  
5 électrique piloté par le signal d'entrée issu d'un microphone ou d'une mémoire d'informations, caractérisé en ce que le circuit pneumatique dans lequel s'écoule le fluide sous pression comporte un col sonique dans le plan duquel s'effectue le mouvement de  
10 l'obstacle provoquant ainsi des fluctuations de débit autour d'un débit moyen déterminé par la position au repos, en l'absence de signal, de l'obstacle à l'intérieur du circuit pneumatique.
2. Procédé d'amplification acoustique fluide selon  
15 la revendication 1, caractérisé en ce que l'amplification pneumatique résulte de l'action simultanée d'un même signal d'entrée sur des écoulements de fluide sous pression dérivés d'une même source génératrice du type turboréacteur.
- 20 3. Haut-parleur pneumatique de mise en oeuvre du procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le circuit pneumatique et le transducteur sont séparés par une paroi, le transducteur commandant un obstacle annulaire mobile qui fait saillie à partir de  
25 cette paroi dans le plan du col annulaire du circuit pneumatique, l'écoulement d'air s'effectuant tangentiellement à cette paroi et radialement par rapport à l'obstacle.
- 30 4. Haut-parleur pneumatique selon la revendication 3, caractérisé en ce que l'obstacle annulaire de modulation de la section de passage de l'écoulement de fluide